

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 8 月 18 日 (18.08.2005)

PCT

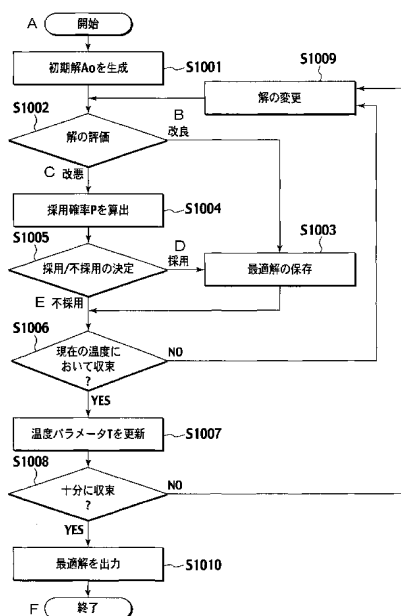
(10) 国際公開番号
WO 2005/076054 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 27/22, INC.) [JP/JP]; 〒1006150 東京都千代田区永田町二丁目 1 1 番 1 号 Tokyo (JP).
G02F 1/01, G03H 1/08, G06F 17/15
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/001933
- (22) 国際出願日: 2005 年 2 月 9 日 (09.02.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-032486 2004 年 2 月 9 日 (09.02.2004) JP
特願2005-032324 2005 年 2 月 8 日 (08.02.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ (NTT DOCOMO,
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 壺井 雅史 (TSUBOI, Masashi). 堀越 力 (HORIKOSHI, Tsutomu). 竹下 敦 (TAKESHITA, Atsushi).
- (74) 代理人: 三好 秀和 (MIYOSHI, Hidekazu); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 番 8 号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: 3-DIMENSIONAL IMAGE DISPLAY DEVICE AND 3-DIMENSIONAL IMAGE DISPLAY METHOD

(54) 発明の名称: 立体画像表示装置及び立体画像表示方法



A START
S1001 GENERATE INITIAL SOLUTION A0
S1009 MODIFY SOLUTION
S1002 SOLUTION EVALUATION
B IMPROVED
C DETERIORATED
S1004 CALCULATE EMPLOYMENT POSSIBILITY P
S1005 DECIDED TO BE EMPLOYED/NOT EMPLOYED
D EMPLOYED
E NOT EMPLOYED
S1003 STORE OPTIMAL SOLUTION
S1006 CONVERGE AT CURRENT TEMPERATURE?
S1007 UPDATE TEMPERATURE PARAMETER T
S1008 CONVERGED SUFFICIENTLY?
S1010 OUTPUT OPTIMAL SOLUTION
F END

(57) Abstract: There is provided a 3-dimensional image display device or the like capable of reducing lengthy calculations and rapidly acquiring an optimal control image to be recorded in an optical wave front control unit. The 3-dimensional image display device displays a 3-dimensional image by applying illumination light to an optical wave front control unit recording a control image. The 3-dimensional image display device includes a control image optimization unit for calculating 3-dimensional images corresponding to control images according to a constraint condition unique to the optical wave front control unit, selecting a control image corresponding to a 3-dimensional image satisfying a predetermined condition from the control images, and recording the selected control image in the optical wave front control device.

(57) 要約: 冗長な計算を削減し、光波面制御部に記録する最適な制御画像を高速に取得することを可能とする立体画像表示装置等を提供する。本発明は、制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって立体画像を表示する立体画像表示装置に関する。本発明に係る立体画像表示装置は、光波面制御部に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する立体画像をそれぞれ算出し、当該制御画像群の中から所定条件を満たす立体画像に対応する制御画像を選択し、選択した制御画像を光波面制御装置に記録する制御画像最適化部を具備する。



ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

立体画像表示装置及び立体画像表示方法

技術分野

[0001] 本発明は、制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって立体画像を表示する立体画像表示装置及び立体画像表示方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、立体画像表示技術として「ホログラフィ」が知られている。ホログラフィは、制御画像(位相や振幅が制御されている光の干渉縞)が記録されている表示デバイスに対して照明光を照射することによって、物体から来る物体光の光波面そのものを立体画像として再生する技術である。

[0003] かかるホログラフィの1つとして、照射光の位相を変調するための光波面の位相分布によって構成されている「キノフォーム」を用いた方式が知られている。かかる方式では、表示デバイスに記録されている制御画像が、光波面の振幅が一定であり光波面の位相のみが分布していると仮定している。

[0004] ここで、かかる方式において、「Simulated Annealing」法を用いて、立体画像を再生するために最適な光波面の位相分布を求める方法が知られている。

[0005] 「Simulated Annealing」法は、ある解を別の解に変更する操作(Move操作)を繰り返し行うことによって、解空間を探索して最適解を得るという確率的探索手法である。

[0006] 「Simulated Annealing」法では、Move操作によって解の評価が向上する場合(すなわち、解が改良された場合)、かかるMove操作による解の変更を採用する。

[0007] 一方、「Simulated Annealing」法では、Move操作によって解の評価が悪化する変更する場合(すなわち、解が改悪された場合)、「温度」を示すパラメータ T (以下、温度パラメータ T)と改悪量 ΔE とに基づいて算出される採用確率 $P(=\exp(-\Delta E/T))$ によって、かかるMove操作による解の変更を採用するか否かについて(すなわち、Move操作後の解をMove操作前の解に戻すべきか否かについて)決定する。

[0008] ここで、温度パラメータ T を、実験開始後の十分に高い温度から十分に低い温度ま

で徐々に下げていき、上述の採用確率Pを制御することによって、局所的な最適解を算出することを防ぐことができる。

- [0009] 上述の方法では、入力として与えられた再生すべき画像(以下、入力画像)と、キノフォーム上の光波面の位相分布をフーリエ変換することによって取得した再生画像とを比較することにより、Move操作の前後における解の評価を行う。
- [0010] なお、かかる解の評価過程における計算量が膨大であることから、Move操作の前後の再生画像の差分情報に基づいて解の評価を行うことで、「Simulated Annealing」法における最適解の探索に掛かる時間を短縮する技術も提案されている。
- [0011] 上述のように、従来の立体画像表示技術では、Move操作の前後の再生画像の差分情報に基づいて解の評価を行うことで、「Simulated Annealing」法における最適解の探索に掛かる時間を短縮していた。
- [0012] しかしながら、従来の立体画像表示技術では、「Simulated Annealing」法における初期解として、入力画像をフーリエ変換することによって取得した制御画像を採用していたため、高速フーリエ変換アルゴリズムを使用する場合、かかる入力画像(キノフォーム)のサイズを「 $N = (N_x \times N_y)$ 」とすると、初期解の評価を行うために「 $O(N \log N)$ 」の計算量が必要となり、最適解の探索に掛かる時間をあまり短縮することができないという問題点があった。
- [0013] なお、「 $O(N \log N)$ 」の計算量とは、 $N \log N$ のオーダーの計算量を意味する。
- [0014] また、従来の立体画像表示技術では、キノフォームを記録する表示デバイスの特性のため、必ずしも該キノフォーム上の1点の変更が再生画像の全点に影響を与えていないにも関わらず、該キノフォーム上の1点の変更が再生画像の全点に影響を与えるという仮定の下で計算を行っていたため、Move操作後の解の評価における計算量を、通常のフーリエ変換に必要な計算量「 $O(N \log N)$ 」から「 $O(N)$ 」にまで削減することはできているものの、まだ冗長な計算を行っているという問題点があった。
- [0015] そこで、本発明は、以上の点に鑑みてなされたもので、冗長な計算を削減し、表示デバイスに記録する最適な制御画像を高速に取得することを可能とする立体画像表示装置及び立体画像表示方法を提供することを目的とする。

発明の開示

- [0016] 本発明の第1の特徴は、制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって立体画像を表示する立体画像表示装置であって、前記光波面制御部に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する前記立体画像をそれぞれ算出し、該制御画像群の中から所定条件を満たす前記立体画像に対応する制御画像を選択し、選択した該制御画像を前記光波面制御装置に記録する制御画像最適化部を具備することを要旨とする。
- [0017] かかる発明によれば、光波面制御部に固有の制約条件に基づいて定義される「光波面制御部上の1画素の変更が影響を及ぼす立体画像の範囲(計算対象範囲)」を考慮して、制御画像を算出するため、冗長な計算を削減することができる。
- [0018] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像最適化部が、前記制御画像の一部に対して順次変更処理を施すことによって前記複数の制御画像群を生成し、該変更処理の前後の制御画像の差分情報に基づいて前記立体画像を順次算出するように構成されていてもよい。
- [0019] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像最適化部が、前記制約条件によって定義される計算対象範囲において、前記立体画像を算出するように構成されていてもよい。
- [0020] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像が、光波面の位相分布によって構成されており、前記制御画像最適化部が、前記光波面制御部を構成する表示デバイスにおいて位相変調が可能な範囲及び該位相変調の精度に基づいて、前記計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。
- [0021] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像最適化部が、更に、前記位相変調と共に発生する振幅変調を考慮して、前記計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。
- [0022] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像が、光波面の振幅分布によって構成されており、前記制御画像最適化部が、前記光波面制御部を構成する表示デバイスにおいて振幅変調が可能な範囲及び該振幅変調の精度に基づいて、前記計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。
- [0023] 本発明の第1の特徴において、前記制御画像最適化部が、更に、前記振幅変調と

共に発生する位相変調を考慮して、前記計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。

- [0024] 本発明の第2の特徴は、制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって立体画像を表示する立体画像表示方法であって、前記光波面制御部に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する前記立体画像をそれぞれ算出する工程と、前記制御画像群の中から所定条件を満たす前記立体画像に対応する制御画像を選択する工程と、選択した前記制御画像を前記光波面制御装置に表示する工程とを有することを要旨とする。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]図1は、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置の全体構成図である。
- [図2]図2は、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置の制御画像最適化部の機能ブロック図である。
- [図3]図3は、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置の制御画像最適化部の動作を示すフローチャートである。
- [図4]図4は、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置において、光波面制御部における回折限界によって定義される領域を説明するための図である。
- [図5]図5は、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置における表示デバイスに対して電圧を加えたときの位相及び振幅変調特性の一例を示す図である。
- [図6]図6は、従来技術に係る立体画像表示装置における計算量と本発明の一実施形態に係る立体画像表示装置における計算量とを比較するための図である。
- [図7]図7は、本発明の第2の実施形態に係る立体画像表示装置の全体構成図である。
- [図8]図8は、本発明の第2の実施形態に係る立体画像表示装置における表示デバイスに対して電圧を加えたときの位相及び振幅変調特性の一例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0026] (本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置の構成)

図1及び図2を参照して、本発明の一実施形態に係る立体画像表示装置の構成を

説明する。本実施形態に係る立体画像表示装置は、制御画像を記録している光波面制御部20に対して照明光を照射することによって立体画像を表示するものである。

[0027] 図1に示すように、本実施形態に係る立体画像表示装置は、制御画像最適化部10と、光波面制御部20と、照明光照射部30と、再生画像表示部40とを具備している。

[0028] 制御画像最適化部10は、光波面制御部20に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する立体画像をそれぞれ算出し、当該制御画像群の中から所定条件を満たす立体画像に対応する制御画像を選択し、選択した制御画像を光波面制御装置20に記録するように構成されている。

[0029] ここで、制御画像は、表示デバイス20Aにキノフォーム20Cとして記録されており、光波面の位相分布 $U(k, l)$ によって構成されている。

[0030] また、キノフォーム20C上の光波面の位相分布 $U(k, l)$ は、「 $N(=N_x \times N_y)$ 」個の画素から構成されており、各画素は、0乃至 2π の範囲の値をとるものとする。

[0031] すなわち、制御画像最適化部10は、表示デバイス20A上にキノフォーム20Cとして当該制御画像を記録するために、表示デバイス20Aの当該制御画像の各画素に対応する位置に所定電圧を印加するように構成されている。

[0032] また、制御画像最適化部10は、後述するように、制御画像の一部(一部の画素)に対して順次変更処理を施すことによって複数の制御画像群を生成し、当該変更処理の前後の制御画像の差分情報に基づいて立体画像を順次算出するように構成されている。

[0033] 本実施形態に係る立体画像表示装置において、上述の制約条件は、後述するように、光波面制御部20を構成する表示デバイス20Aの特性によって決定される。

[0034] 図2に示すように、制御画像最適化部10は、初期解生成部10aと、評価部10bと、最適解保存部10cと、パラメータ変更部10dと、解変更部10eと、出力部10fとを具備している。なお、各部の具体的な機能については後述する。

[0035] 光波面制御部20は、図1に示すように、表示デバイス20Aと、フーリエレンズ20Bとを具備している。表示デバイス20Aは、制御画像最適化部10から出力された制御画像をキノフォーム(光波面の位相分布)20Cとして記録するものである。

[0036] また、図1の例では、表示デバイス20Aとフーリエレンズ20Bとの間の距離は「f」であり、フーリエレンズ20Bと再生画像表示部40との間の距離も「f」である。ここで、「f」は、フーリエレンズの焦点距離である。

[0037] 照明光照射部30は、制御画像最適化部10からの指示に応じて、光波面制御部20を構成する表示デバイス20Aに対して照明光を照射するものである。

[0038] 再生画像表示部40は、上述の制御画像に対応する立体画像を示す複素波面上の再生画像 $g(x, y)$ を表示するものである。

[0039] 本実施形態に係る立体画像表示装置では、照明光照射部30から照射された照明光が、表示デバイス20A上に記録されているキノフォーム20C上の各画素によって0乃至 2π の範囲で位相変調され、位相変調された照明光が、進行方向を変えながらフーリエレンズ20Bを介して再生画像表示部40に到達することによって、制御画像に対応する立体画像が表示される。

[0040] なお、本実施形態に係る立体画像表示装置は、フーリエレンズ20Bを具備しないように構成されていてもよい。

[0041] (本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置の動作)

以下、図3を参照して、本実施形態に係る立体画像表示装置の動作について説明する。具体的には、本実施形態に係る立体画像表示装置の制御画像最適化部10が、入力画像に対応する立体画像(再生画像)を表示するために、キノフォーム20Cとして表示デバイス20Aに記録する最適な制御画像を生成する動作について説明する。

[0042] 図3に示すように、ステップS1001において、制御画像最適化部10の初期解生成部10aが、制御画像の初期解 A_0 (すなわち、 $U_0(k, l)$)を生成する。以下、初期解の参照符号である「 A_0 」又は「 $U_0(k, l)$ 」を、場面に応じて適宜使い分けることとする。

[0043] 具体的には、初期解生成部10aは、制御画像を構成する各画素に対してランダムな値を割り当てる。例えば、各画素が、256階調の正規化されたデータであるとする、初期解生成部10aは、各画素に対して0乃至256の乱数を割り当て、割り当てた乱数に $2\pi/256$ をかけることによって、制御画像の初期解 A_0 、すなわち、各画素の位相分布の初期解 $U_0(k, l)$ を生成する。

- [0044] かかる初期解 A_0 の生成処理(ステップS1001)では、画素数を「N」とすると、全ての画素の値を決定する必要があるため、計算量は「O(N)」となる。
- [0045] ここで、必ずしも初期解 A_0 がランダムな値である必要はない。なぜならば、初期解 A_0 をどのような値にとっても、実験開始直後の高温状態においては、解を改悪にするMove操作もほぼ100%採用されるため、十分な高温状態で「Simulated Annealing」法による計算を十分に行うことで、ランダムな初期解を生成するのと同じ効果が得られ、最終的に得られる解の性能を損なうことはないからである。
- [0046] ステップS1002において、制御画像最適化部10の評価部10bが、初期解生成部10aから出力された初期解 $U_0(k, l)$ 若しくは解変更部10eから出力された解 A_i (すなわち、 $U_i(k, l)$)を評価する。以下、場面に応じて、解変更部10eから出力される解の参照符号である「 A_i 」又は「 $U_i(k, l)$ 」を、場面に応じて適宜使い分けることとする。
- [0047] 第1に、評価部10bによる初期解 $U_0(k, l)$ の評価処理について説明する。評価部10bは、式(1)に基づいて、初期解 $U_0(k, l)$ から再生画像 $g_0(x, y)$ を算出する。
- [数1]

$$g_0(x, y) = \sum_k \sum_l U_0(k, l) \cdot \exp \left(i \frac{2\pi}{N(xk + yl)} \right) \quad \text{式(1)}$$

- [0048] ここで、式(1)における加算区間は、「k」が「 $-N_x/2$ 」から「 $N_x/2-1$ 」までであり、「l」が「 $-N_y/2$ 」から「 $N_y/2-1$ 」までであるN個の区間である、すなわち、再生画像全体を表している。
- [0049] しかしながら、実際は、表示デバイス20Aの特性等の要因によって、初期解 $U_0(k, l)$ の各画素が、再生画像全体に影響を与えるわけではない。
- [0050] そこで、本実施形態では、評価部10bは、再生画像 $g_0(x, y)$ を算出するにあたって、初期解 $U_0(k, l)$ の各画素によって影響を受ける再生画像の領域(視域)Aのみを加算区間として考慮するように構成されている。
- [0051] 例えば、図4に示すように、表示デバイス20Aと再生画像表示部40との間の距離を「R」、表示デバイス20Aにおいて照明光の進行方向が変わる角度を「 θ 」とすると、画素aによって影響を受ける再生画像の領域(視域)Aは、 $d \leq R \tan \theta$ の範囲である

。かかる場合、評価部10bは、かかる再生画像の領域(視域)Aを加算区間とする。

[0052] すなわち、制御画像最適化部10は、表示デバイス20Aの特性によって定義される領域(視域)A内を、初期解 $U_0(k, l)$ の各画素に対する計算対象範囲として立体画像($g_0(x, y)$)を算出するように構成されている。

[0053] また、制御画像最適化部10は、光波面制御部20を構成する表示デバイス20Aにおいて位相変調が可能な範囲及び位相変調の精度に基づいて、上述の計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。

[0054] 例えば、表示デバイス20Aにおいて位相変調が可能な範囲及び位相変調の精度は、表示デバイス20Aの特性や解像度の限界等によって決定される。

[0055] すなわち、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる表示デバイス20Aの種類によっては、位相変調が可能な範囲が、0乃至 2π よりも狭くなるケース(例えば、 0.1π 乃至 1.9π 等)がある。

[0056] また、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる表示デバイス20Aの種類によっては、照射光の屈折角を、0.1度単位(位相変調の精度)で変更可能な場合もあるし、1度単位で変調可能な場合もある。

[0057] ここで、制御画像最適化部10は、位相変調が可能な範囲の角度によって照射光が到達する視域A外の領域を計算対象範囲外としたり(例えば、かかる領域を上述の加算区間から除いたり)、位相変調の精度に基づいてMove操作における解の変更幅を決定したりすることによって、最適な制御画像を取得するのに必要な計算量を低減することができる。

[0058] また、実際には、図5に示すように、表示デバイス20Aに記録されているキノフォーム(光波面の位相分布)20Cによって、照射光の位相が変調されるのと同時に、照射光の振幅も少なからず変調されてしまう。なお、図5は、本実施形態に係る立体画像表示装置で用いられる表示デバイス20Aの特性の一例を示す図である。

[0059] したがって、制御画像最適化部10は、更に、位相変調と共に発生する振幅変調を考慮して、上述の計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。

[0060] 図5に示す表示デバイス20Aでは、印加電圧が「2V」を超えると、照射光の位相が変調されるのと同時に、照射光の振幅も変調されて小さくなる。

- [0061] 本実施形態では、制御画像を構成する各画素のサイズが一定であるため、各画素を透過する照射光の振幅に応じて一定以上の強度の照射光が再生画像表示部40に到達することによって形成される視域Aの大きさが決定する。すなわち、各画素を透過する照射光の振幅が大きいほど、一定以上の強度の照射光が再生画像表示部40に到達することによって形成される視域Aの大きさが大きくなる。
- [0062] したがって、図5に示す表示デバイス20Aを用いた場合、印加電圧が「2V」を超えると、各画素を透過する照射光の振幅が小さくなるので、上述の計算対象範囲を更に小さくすることができる。
- [0063] なお、上述の加算区間は、キノフォーム20C上の各画素によって異なっているが、各画素に対応する加算区間は、キノフォーム20C(制御画像)のサイズに対して定数であるため、計算量は「O(1)」となる。したがって、初期解 $U_0(k, l)$ の各画素の数が「N」であることから、再生画像全体を算出する際の計算量は「O(N)」となる。
- [0064] そして、評価部10bは、式(2)を用いて評価関数 $E(A_i)$ を算出する。
- [数2]

$$E(A_i) = \sum_x \sum_y | I_0(x, y) - \alpha \cdot I(x, y) |^2 \quad \text{式(2)}$$

- [0065] ここで、 I_0 は、入力画像の強度分布であり、 I は、再生画像 $g_i(x, y)$ の強度分布(再生画像の複素波面上の絶対値の自乗)であり、 α は、 $\text{MAX}(I_0)/\text{MAX}(I)$ で表されるスケーリング定数である。
- [0066] かかる場合、評価部10bは、ステップS1003において、初期解 A_0 を最適解として最適解保存部10cに保存する。
- [0067] 第2に、評価部10bによる解 $U_i(k, l)$ の評価処理について説明する。
- [0068] 評価部10bは、式(3)に基づいて、解 $U_i(k, l)$ から再生画像 $g_i(x, y)$ を算出する。
- [0069] $g_i(x, y) = g_{i-1}(x, y) + \{U_i(k, l) - U_{i-1}(k, l)\} \cdot \exp[i \cdot 2\pi (xk/N_x + yl/N_y)]$
 … 式(3)
- ここで、 $g_{i-1}(x, y)$ は、Move操作前の再生画像であり、 $U_{i-1}(k, l)$ は、Move操作前の解(光波面の位相分布)である。

- [0070] かかる再生画像 $g_i(x, y)$ の算出処理は、式(3)に示すように、Move操作前後の制御画像の差分情報に基づいて行われるため、計算量は「 $O(1)$ 」となる。
- [0071] そして、評価部10bは、式(2)を用いて評価関数 $E(A_i)$ を算出し、算出した評価関数 $E(A_i)$ に基づいて、解 $U_i(k, 1)$ が改良されたか否かについて評価する。
- [0072] 例えば、評価部10bは、改悪量 $\Delta E = E(A_i) - E(A_{i-1})$ を算出し、 $\Delta E < 0$ の場合、解 $U_i(k, 1)$ が改良されたと評価し、 $\Delta E < 0$ でない場合、解 $U_i(k, 1)$ が改悪されたと評価する。
- [0073] 解 $U_i(k, 1)$ が改良されたと評価された場合、ステップS1003において、評価部10bは、かかる解 A_i を最適解として最適解保存部10cに保存する。一方、解 $U_i(k, 1)$ が改悪されたと評価された場合、評価部10bの動作は、ステップS1003に進む。
- [0074] ステップS1004において、評価部10bは、式(4)を用いて、解 $U_i(k, 1)$ を算出したMove操作を採用する確率を示す採用確率 P を算出する。
- [0075] $P = \exp(-\Delta E/T)$ … 式(4)
ここで、 T は、温度パラメータを示す。
- [0076] ステップS1005において、評価部10bは、算出した採用確率 P に基づいて、解 $U_i(k, 1)$ を算出したMove操作を採用するか否かについて決定する。
- [0077] 評価部10bは、かかるMove操作を採用すると決定した場合、ステップS1003において、かかる解 A_i を最適解として最適解保存部10cに保存する。一方、評価部10bの動作は、かかるMove操作を採用しないと決定した場合、ステップS1006に進む。
- [0078] ステップS1006において、評価部10bは、現在の温度において、解 A_i の評価が収束しているか否かについて判定する。具体的には、評価部10bは、温度パラメータ T に基づく最適解の算出にあたって、十分な回数のMove操作を行っているか否かについて判定する。なお、かかる判定は、従来の「Simulated Annealing」法における判定と同様の手法によって行われる。
- [0079] 評価部10bの動作は、解 A_i の評価が収束していると判定された場合、ステップS1007に進み、解 A_i の評価が収束していないと判定された場合、ステップS1009に進む。
- [0080] ステップS1007において、制御画像最適化部10のパラメータ変更部10dは、温度

パラメータTを更新する。

- [0081] ステップS1008において、評価部10bは、最適解の算出から計測して十分な回数のMove操作を行っているか否かについて判定する。なお、かかる判定は、従来の「Simulated Annealing」法における判定と同様の手法によって行われる。
- [0082] 十分な回数のMove操作が行われていると判定された場合、ステップS1010に進み、十分な回数のMove操作が行われていないと判定された場合、ステップS1009に進む。
- [0083] ステップS1009において、制御画像最適化部10の解変更部10eは、現在の解「 $U_i - 1(k, l)$ 」のランダムな1画素の位相を、ランダムな値に変更することによって、解「 $U_i(k, l)$ 」を算出して、評価部10bに対して出力する。
- [0084] ステップS1010において、制御画像最適化部10の出力部10fは、最適解保存部10cに保存されている最適解を、表示デバイス20Aに対して出力する。
- [0085] 以上のように、本実施形態に係る制御画像最適化部10は、「Simulated Annealing」法を用いて、制御画像の一部（すなわち、制御画像を構成する各画素）に対して順次変更処理（Move操作）を施すことによって複数の制御画像群（解「 $U_i(k, l)$ 」）を生成し、当該変更処理（Move操作）の前後の制御画像の差分情報に基づいて立体画像（再生画像 $g_i(x, y)$ ）を順次算出するように構成されている。
- [0086] （本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置における計算量）
図6を参照して、本実施形態に係る立体画像表示装置における計算量と従来技術に係る立体画像表示装置における計算量とを比較する。
- [0087] 初期解の生成処理（図3のステップS1001）における計算量は、従来技術に係る立体画像表示装置では、キノフォーム20C（制御画像）のサイズNに対して「 $O(N \log N)$ 」であったが、本実施形態に係る立体画像表示装置では、「 $O(N)$ 」まで削減されている。
- [0088] また、初期解の評価処理（図3のステップS1002）における計算量は、従来技術に係る立体画像表示装置では、「 $O(N \log N)$ 」であったが、本実施形態に係る立体画像表示装置では、キノフォーム20C（制御画像）上の各画素から影響を受ける再生画像の領域（視域）Aを制限することによって、すなわち、キノフォーム20C（制御画像）

上の各画素から影響を受ける再生画像の領域外の領域(各画素からの影響を表示不可能な領域)を計算対象範囲外とすることによって、「 $O(N)$ 」まで削減されている。

[0089] また、Move操作後の解の評価処理(図3のステップS1002)における計算量は、従来技術に係る立体画像表示装置では、「 $O(N)$ 」であったが、本実施形態に係る立体画像表示装置では、「 $O(1)$ 」、すなわち、定数時間まで削減されている。

[0090] さらに、解の変更処理(図3のステップS1009)における計算量は、従来技術に係る立体画像表示装置及び本実施形態に係る立体画像表示装置共に、「 $O(1)$ 」、すなわち、定数時間である。

[0091] (本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置における作用・効果)

本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置によれば、光波面制御部20に固有の制約条件(例えば、表示デバイス20Aの特性や解像度の限界等)に基づいて定義される「光波面制御部20における表示デバイス20Aに記録されている1画素の変更が影響を及ぼす立体画像($g_i(x, y)$)の範囲(計算対象範囲)」を考慮して、制御画像($U_i(k, 1)$)を算出するため、冗長な計算を削減することができる。

[0092] また、本発明の第1の実施形態に係る立体画像表示装置によれば、表示デバイス20Aにおいて、照射光の位相が変調されるのと同時に、照射光の振幅が変調されることを考慮して、制御画像($U_i(k, 1)$)を算出するため、冗長な計算を更に削減することができる。

[0093] (本発明の第2の実施形態に係る立体画像表示装置)

図7に示すように、本発明の第2の実施形態に係る立体画像表示装置は、上述の第1の実施形態に係る立体画像表示装置において用いられていたキノフォーム(位相型ホログラム)20Cの代わりに、振幅型ホログラム20Dを用いるように構成されている。

[0094] 本実施形態では、表示デバイス20Aに記録される制御画像は、光波面の振幅分布 $U(k, 1)$ によって構成されている。

[0095] なお、図7の例では、光波面制御部20は、フーリエレンズ20Bを含まないように構成されているが、上述の第1の実施形態に係る立体画像表示装置と同様に、フーリエレンズ20Bを含むように構成されていてもよい。

- [0096] また、本実施形態では、制御画像最適化部10は、光波面制御部20を構成する表示デバイス20Aにおいて振幅変調が可能な範囲及び振幅変調の精度に基づいて、上述の計算対象範囲(立体画像を算出する領域)を算出するように構成されている。
- [0097] 例えば、表示デバイス20Aにおいて振幅変調が可能な範囲及び振幅変調の精度は、表示デバイス20Aの特性や解像度の限界等によって決定される。
- [0098] なお、振幅変調では、制御画像を構成する各画素のサイズ及び各画素を透過する照射光の振幅に応じて、一定以上の強度の照射光が再生画像表示部40に到達することによって形成される視域Aの大きさが決定する。したがって、かかる各画素のサイズ(画素幅)に応じて、照射光の集光を制御できる範囲を推定することができる。
- [0099] すなわち、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる表示デバイス20Aの種類によっては、透過する照射光の振幅量「0」を実現することができず、振幅変調が可能な範囲から、透過する照射光の振幅量「0」が除外されるケースがある(図8参照)。
- [0100] また、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる表示デバイス20Aの種類によっては、印加電圧に応じて振幅を線形制御することができず、振幅変調が可能な範囲から、かかる線形制御できない範囲(図8の例では、印加電圧が2V以下の範囲)が除外されるケースがある。
- [0101] また、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる表示デバイス20Aの種類によっては、各画素において透過する照射光の振幅透過率を、0.1単位(振幅変調の精度)で変更可能な場合もあるし、0.01単位(振幅変調の精度)で変調可能な場合もある。
- [0102] また、本実施形態に係る立体画像表示装置に用いられる制御画像最適化部10の性能によっては、各画素に印加可能な電圧を、0.1V単位(振幅変調の精度)で変更可能な場合もあるし、1V単位で変調可能な場合もある。
- [0103] ここで、制御画像最適化部10は、振幅変調が可能な範囲外の振幅の値を解から除外するようにして制御画像を算出したり、振幅変調の精度に基づいてMove操作における解の変更幅を決定したりすることによって、最適な制御画像を取得するのに必要な計算量を低減することができる。

- [0104] また、実際には、図8に示すように、表示デバイス20Aに記録されている振幅型ホログラム(光波面の振幅分布)20Dによって、照射光の振幅が変調されるのと同時に、照射光の位相も少なからず変調されてしまう。なお、図8は、本実施形態に係る立体画像表示装置で用いられる表示デバイス20Aの特性の一例を示す図である。
- [0105] したがって、制御画像最適化部10は、更に、振幅変調と共に発生する位相変調を考慮して、上述の計算対象範囲を算出するように構成されていてもよい。
- [0106] 例えば、図8に示す表示デバイス20Aを用いた場合、印加電圧に応じて、各画素を透過する照射光の屈折角が変更されて、視域Aが小さくなる場合、上述の計算対象範囲を更に小さくすることができる。
- [0107] 以上、本発明を実施例により詳細に説明したが、当業者にとっては、本発明が本願中に説明した実施例に限定されるものではないということは明らかである。本発明の装置は、特許請求の範囲の記載により定まる本発明の趣旨及び範囲を逸脱することなく修正及び変更態様として実施することができる。従って、本願の記載は、例示説明を目的とするものであり、本発明に対して何ら制限的な意味を有するものではない。

産業上の利用の可能性

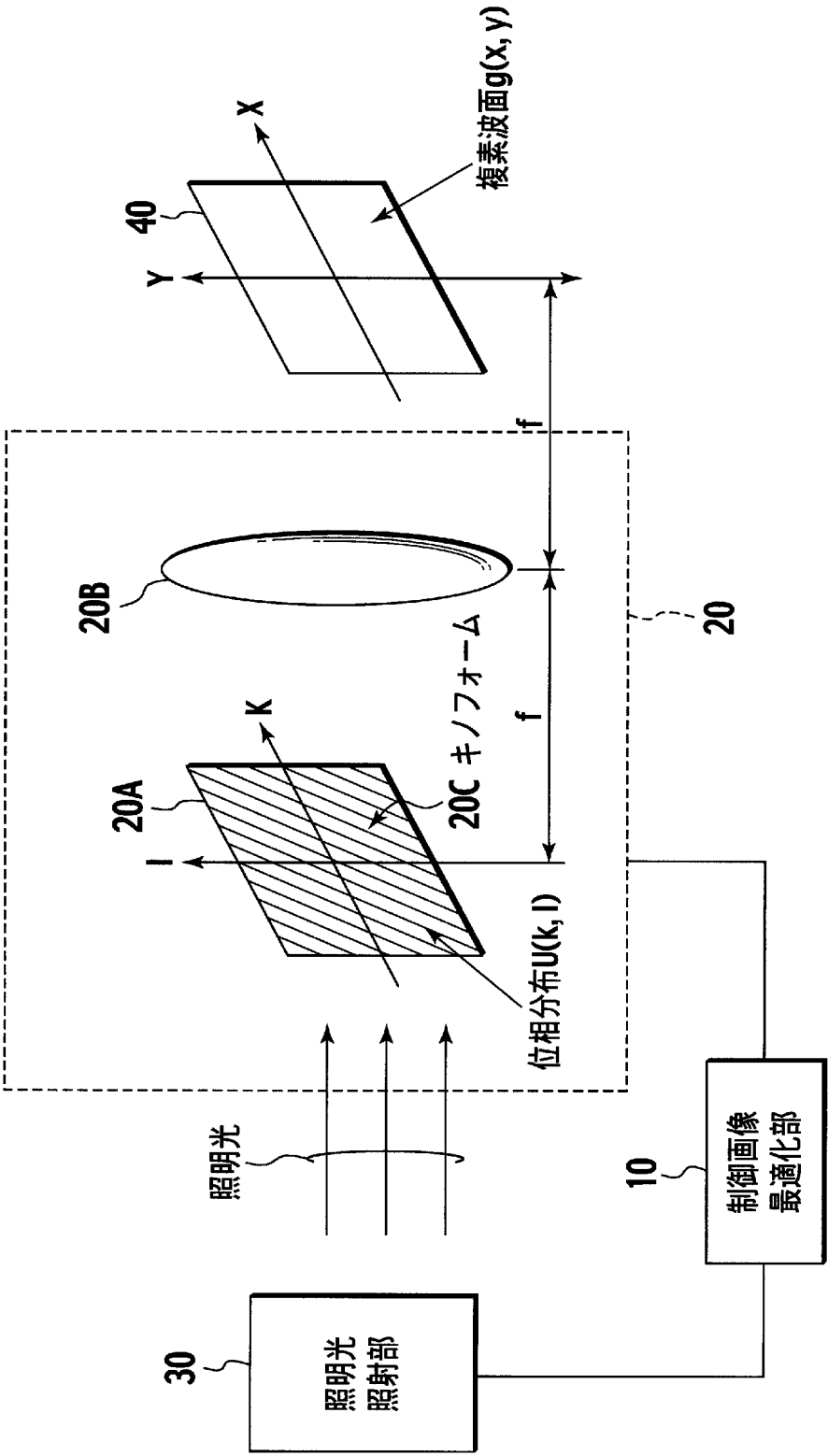
- [0108] 以上説明したように、本発明によれば、冗長な計算を削減し、光波面制御部(表示デバイス)に記録する最適な制御画像(「キノフォーム(光波面の位相分布)」又は「振幅型ホログラム(光波面の振幅分布)」)を高速に取得することが可能な立体画像表示装置及び立体画像表示方法を提供することができる。

請求の範囲

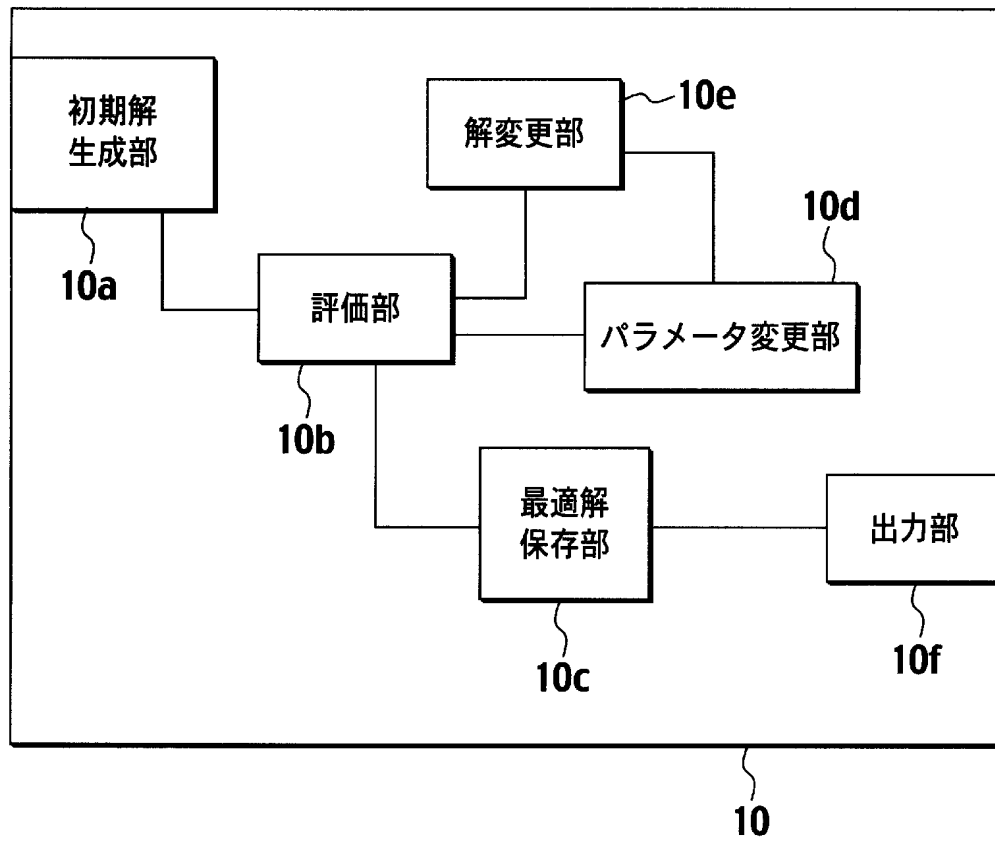
- [1] 制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって、立体画像を表示する立体画像表示装置であって、
前記光波面制御部に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する前記立体画像をそれぞれ算出し、該制御画像群の中から所定条件を満たす前記立体画像に対応する制御画像を選択し、選択した該制御画像を前記光波面制御装置に記録する制御画像最適化部を具備することを特徴とする立体画像表示装置。
- [2] 前記制御画像最適化部は、前記制御画像の一部に対して順次変更処理を施すことによって前記複数の制御画像群を生成し、該変更処理の前後の制御画像の差分情報に基づいて前記立体画像を順次算出することを特徴とする請求項1に記載の立体画像表示装置。
- [3] 前記制御画像最適化部は、前記制約条件によって定義される計算対象範囲において、前記立体画像を算出することを特徴とする請求項1に記載の立体画像表示装置。
- [4] 前記制御画像は、光波面の位相分布によって構成されており、
前記制御画像最適化部は、前記光波面制御部を構成する表示デバイスにおいて位相変調が可能な範囲及び該位相変調の精度に基づいて、前記計算対象範囲を算出することを特徴とする請求項3に記載の立体画像表示装置。
- [5] 前記制御画像最適化部は、更に、前記位相変調と共に発生する振幅変調を考慮して、前記計算対象範囲を算出することを特徴とする請求項4に記載の立体画像表示装置。
- [6] 前記制御画像は、光波面の振幅分布によって構成されており、
前記制御画像最適化部は、前記光波面制御部を構成する表示デバイスにおいて振幅変調が可能な範囲及び該振幅変調の精度に基づいて、前記計算対象範囲を算出することを特徴とする請求項3に記載の立体画像表示装置。
- [7] 前記制御画像最適化部は、更に、前記振幅変調と共に発生する位相変調を考慮して、前記計算対象範囲を算出することを特徴とする請求項6に記載の立体画像表示装置。

- [8] 制御画像を記録している光波面制御部に対して照明光を照射することによって、立体画像を表示する立体画像表示方法であって、
- 前記光波面制御部に固有の制約条件に基づいて複数の制御画像群に対応する前記立体画像をそれぞれ算出する工程と、
- 前記制御画像群の中から所定条件を満たす前記立体画像に対応する制御画像を選択する工程と、
- 選択した前記制御画像を前記光波面制御装置に表示する工程とを有することを特徴とする立体画像表示方法。

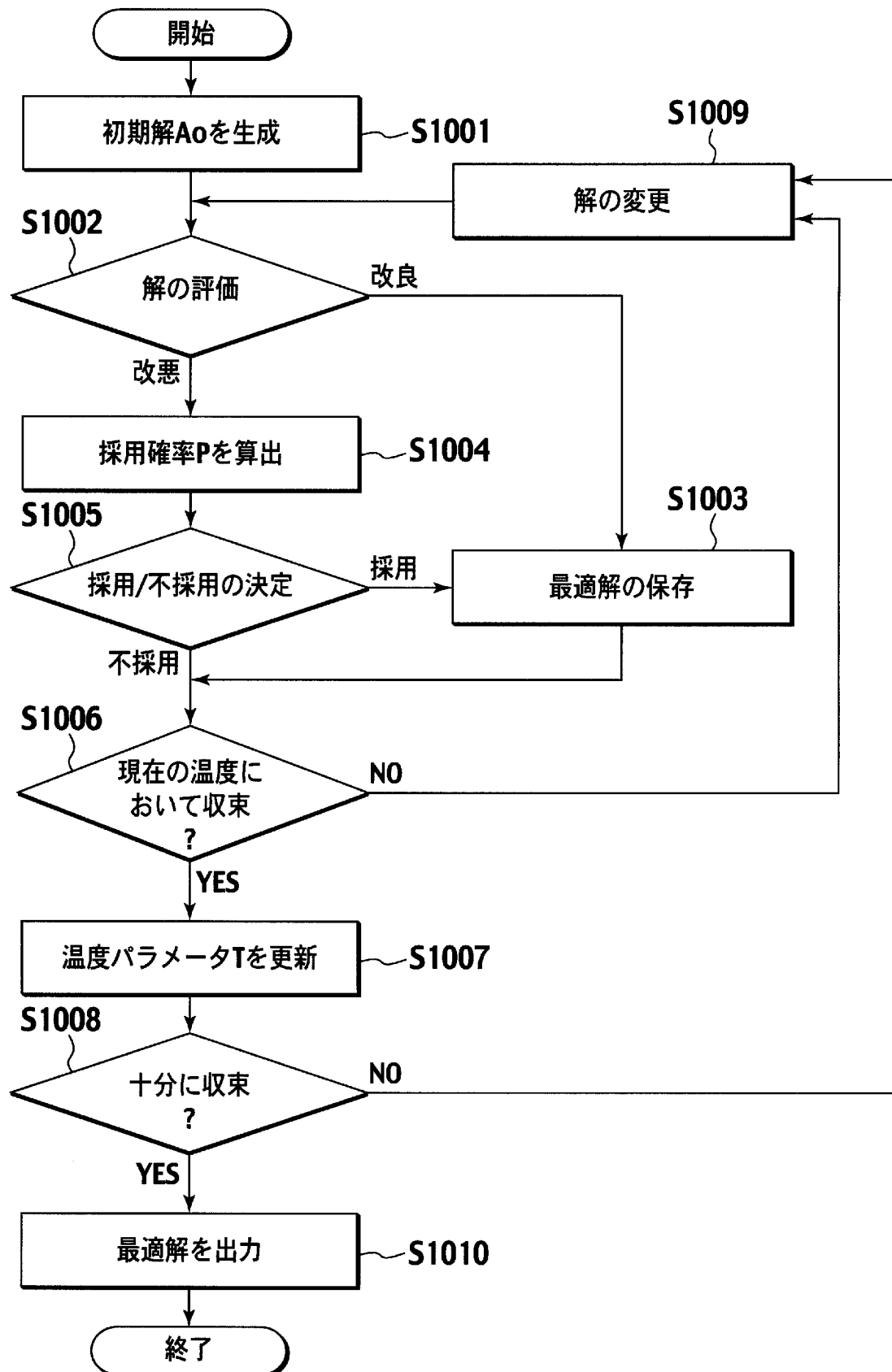
[図1]



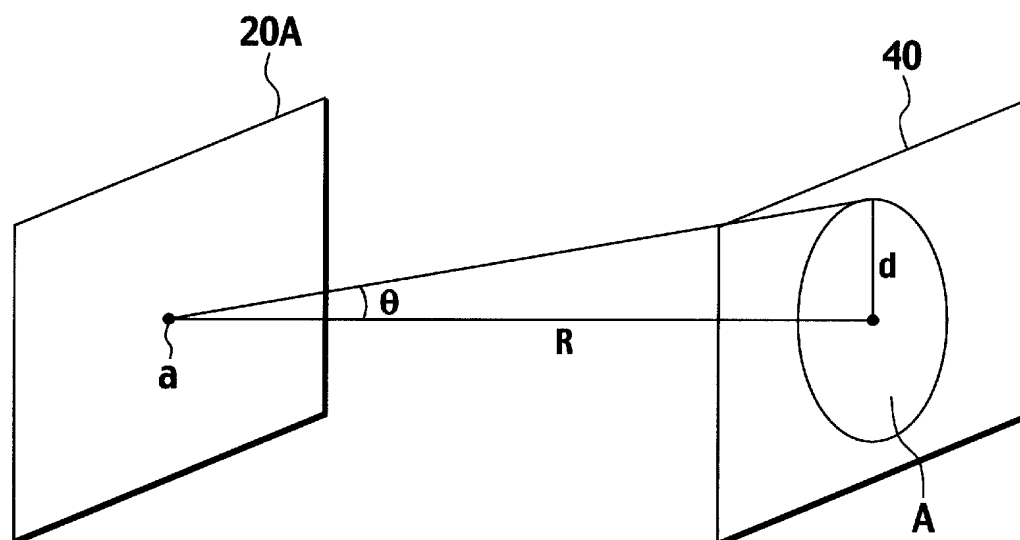
[図2]



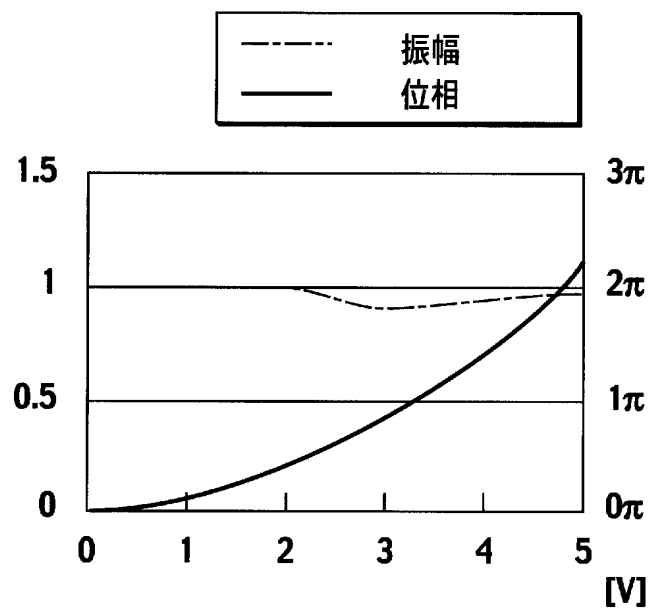
[図3]



[図4]



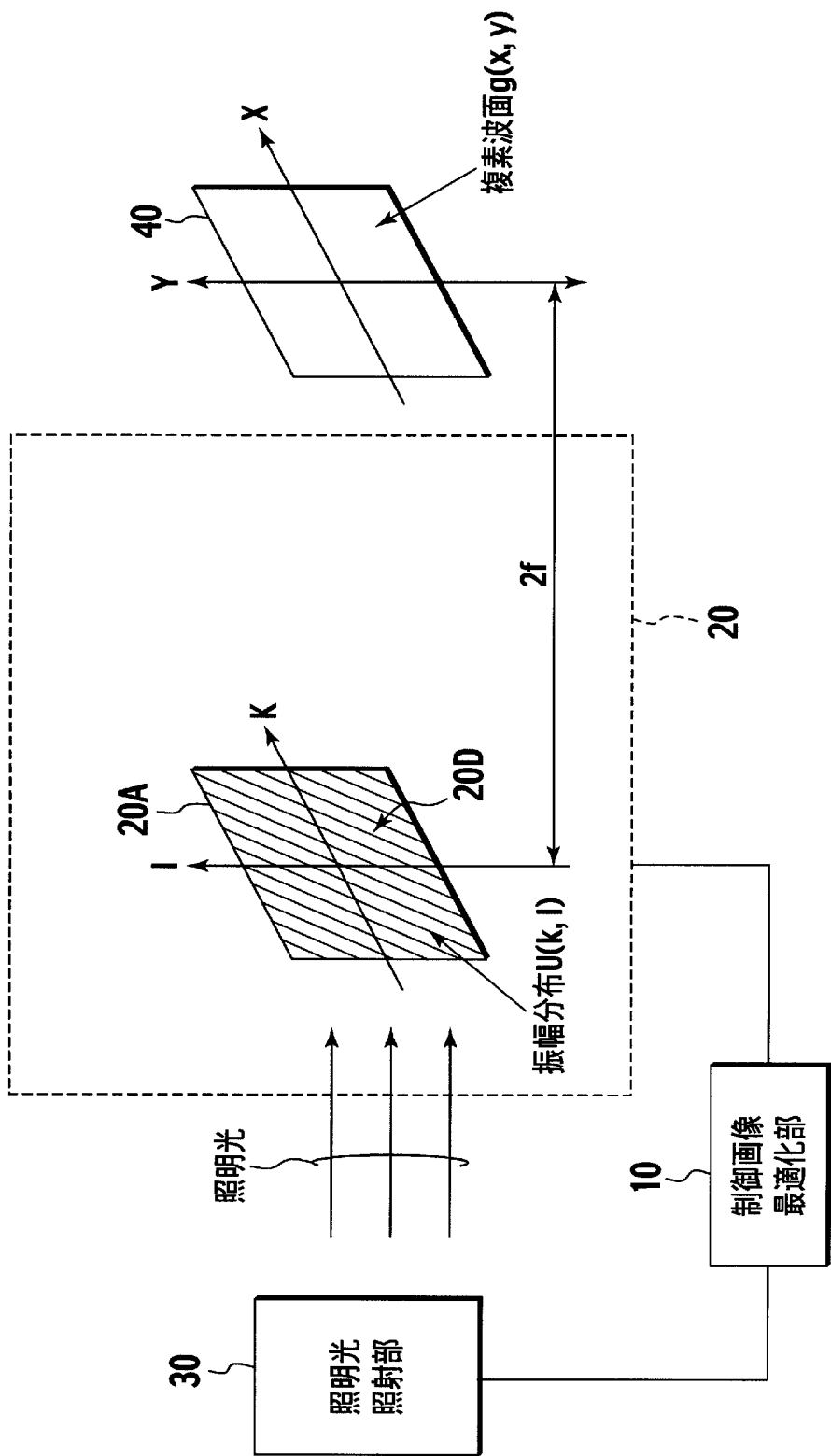
[図5]



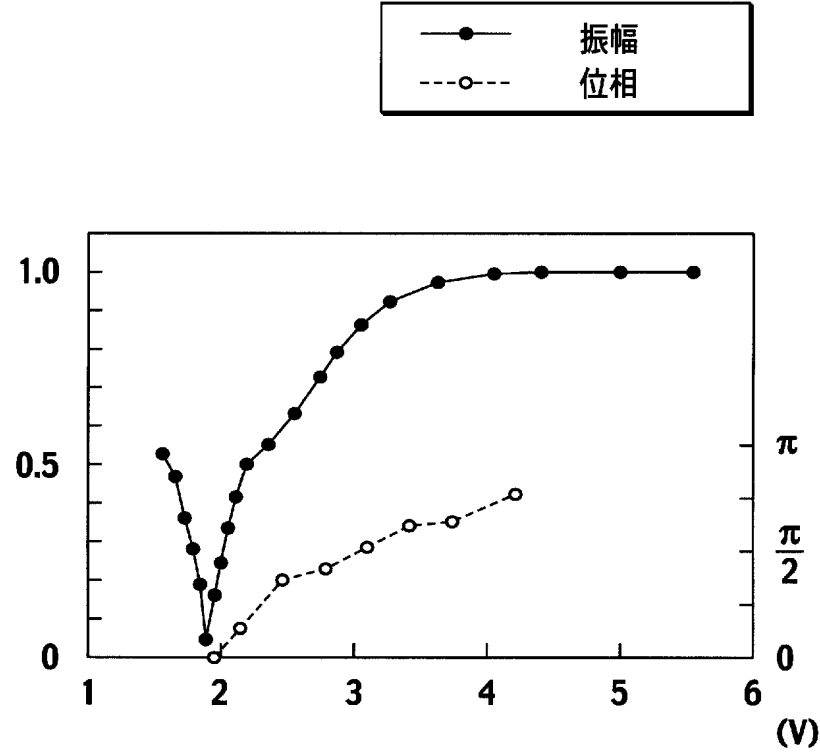
[図6]

	従来技術	本発明
初期解の生成	$O(N \log N)$	$O(N)$
解の評価 (初期解)	$O(N \log N)$	$O(N)$
解の変更 (Move操作)	$O(1)$	$O(1)$
解の評価 (変更後)	$O(N)$	$O(1)$

[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/001933

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G02B27/22, G02F1/01, G03H1/08, G06F17/15

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02B27/22, G02F1/01, G03H1/08, G06F17/15

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NOZAKI, Shinya et al., An Adaptive Simulated Annealing Applied to Optimization of Phase Distribution of Kinoform, Ryukyu Daigaku Kogakubu Kiyo, No.56, 01 September, 1998 (01.09.98), pages 33 to 36	1-8
A	CHEN Yen-Wei et al., A Fast Kinoform optimization Algorithm Based on Simulated Annealing, IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, Vol.E83-A, No.4, April 2000, pages 774 to 776	1-8
A	YOSHIKAWA, Nobukazu et al., Phase optimization of a kinoform by simulated annealing, APPLIED OPTICS, Vol.33, No.5, February 1994, pages 863 to 868	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 April, 2005 (27.04.05)

Date of mailing of the international search report
24 May, 2005 (24.05.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/001933

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X P,A	Masashi TSUBOI et al., "Simulated Annealing-ho o Mochiita Kinoform Saitekika Shuho", 2004 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Joho· System 2, 08 March, 2004 (08.03.04), page 166	1-3, 8 4-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B27/22, G02F1/01, G03H1/08, G06F17/15

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B27/22, G02F1/01, G03H1/08, G06F17/15

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	NOZAKI Shinya et al., An Adaptive Simulated Annealing Applied to Optimization of Phase Distribution of Kinoform, 琉球大学工学部紀要 第56号, 1998. 09. 01, p. 33-36	1-8
A	CHEN Yen-Wei et al., A Fast Kinoform optimization Algorithm Based on Simulated Annealing, IEICE TRANS. FUNDAMANTALS, Vol. E83-A, No. 4, April 2000, p. 774-776	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 04. 2005

国際調査報告の発送日

24. 5. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

9017

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	YOSHIKAWA Nobukazu et al., Phase optimization of a kinoform by simulated annealing, APPLIED OPTICS, Vol. 33, No. 5, February 1994, p. 863-868	1-8
P, X P, A	壺井雅史 他, シミュレーテッドアニーリング法を用いたキノフォーム最適化手法, 2004年電子情報通信学会総合大会講演論文集情報・システム2, 2004. 03. 08, p. 166	1-3, 8 4-7